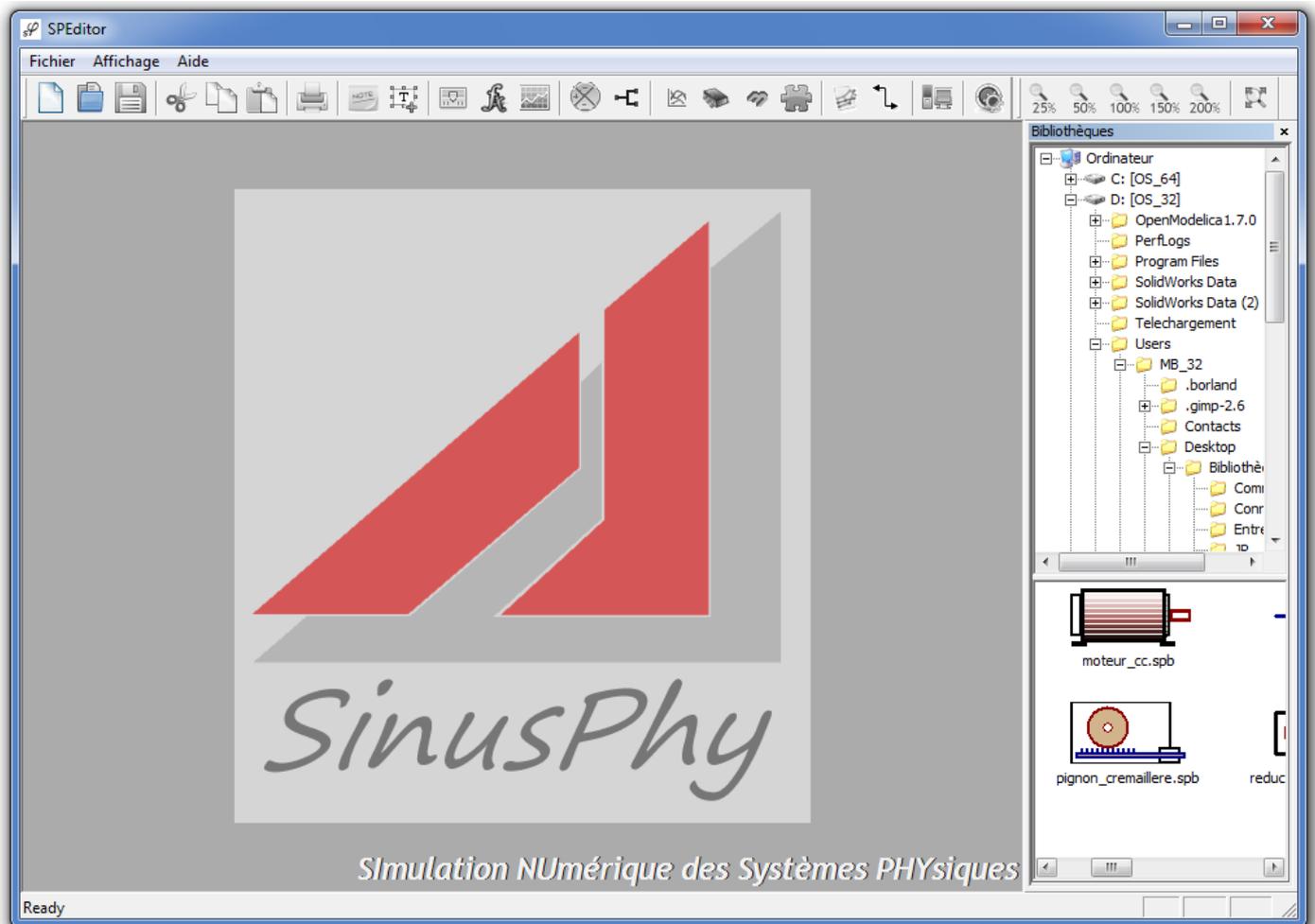


# LOGICIEL DE SIMULATION NUMERIQUE DES SYSTEMES PHYSIQUES

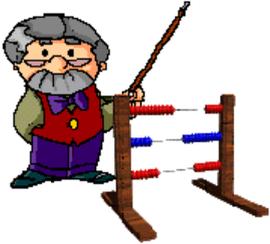


## PRESENTATION

# Simulation numérique des systèmes physiques



## SIMULATION NUMÉRIQUE DES SYSTÈMES PHYSIQUES



Développé par la société **Atemi**, **SiNuSPhy** est un logiciel de simulation numérique destiné aux élèves de classes de lycées, 2<sup>nde</sup>, 1<sup>ère</sup>, terminale, de STS, de CPGE. Il a pour objectif de développer leurs savoirs et compétences dans le domaine de la **modélisation, de l'analyse et de la simulation des systèmes physiques**. Conçu dans le même esprit que **Meca3D** en ce qui concerne l'analyse dynamique des ensembles mécaniques, **SiNuSPhy** met tout particulièrement l'accent sur l'ergonomie de son interface visuelle, et sur la dimension pédagogique.

### Les fonctionnalités de **SiNuSPhy** :

décrire / analyser la **structure** d'un système  
le **représenter sous forme d'un graphe** structurel, en identifiant ses constituants, et en exprimant ses lois de comportement temporelles

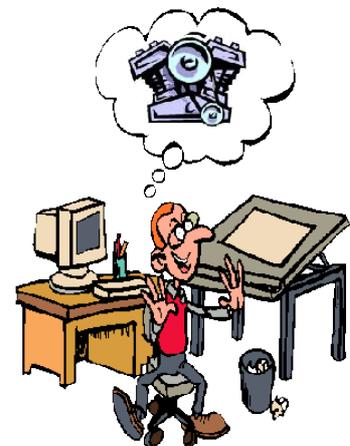
} **Modéliser**

permettre la **simulation du comportement** de chaque constituant, mais aussi de l'ensemble  
faire **varier les paramètres** et proposer la **consultation des résultats** (courbes, tableaux,...) relatifs aux entrées/sorties des blocs

} **Simuler**

### Remarque:

Il y a deux versions du logiciel: celle du professeur qui imagine et construit le scénario et celle de l'élève qui voit le "film" et agit sur lui

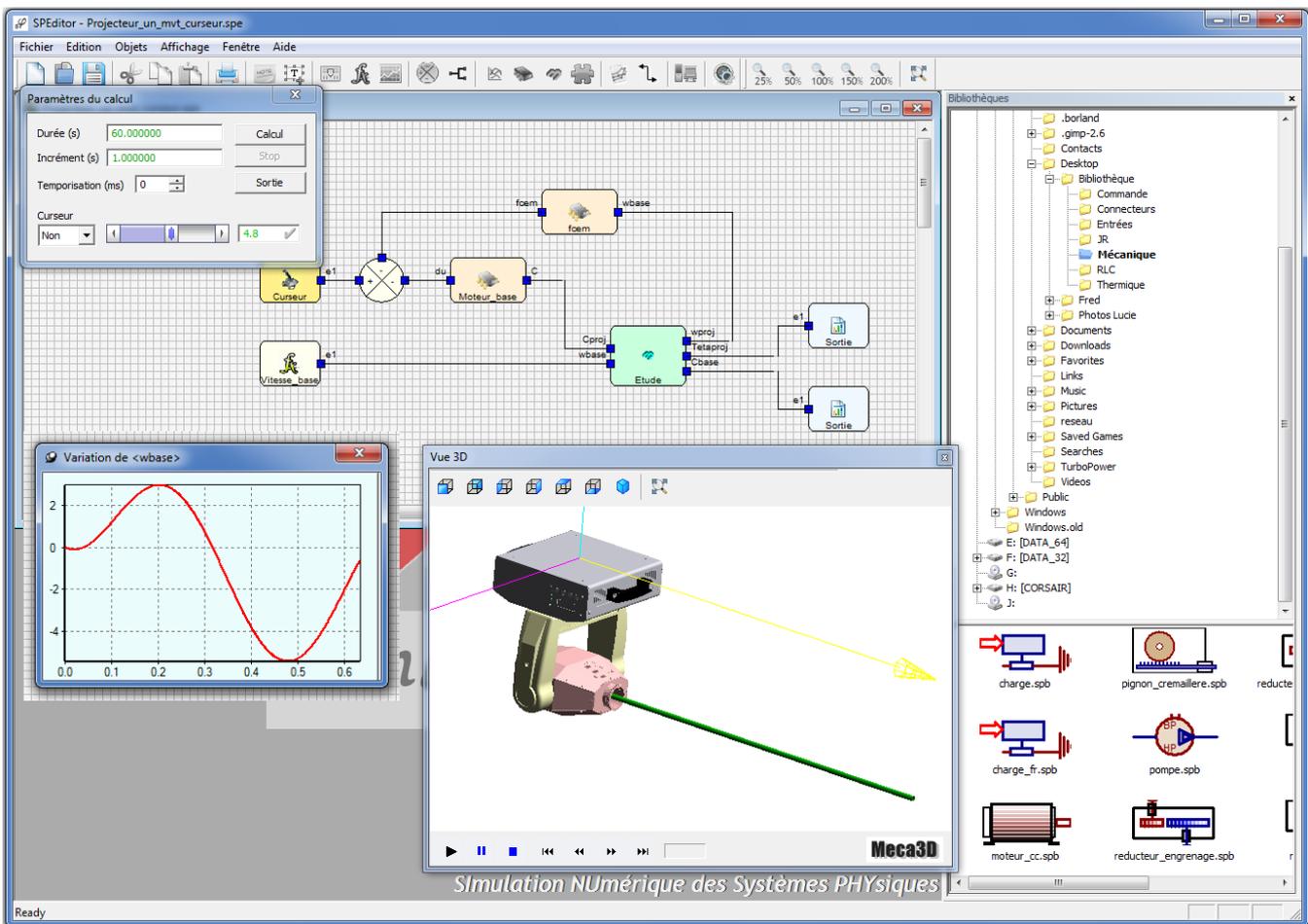


# Les fonctionnalités



**SiNuSPhy** -Simulation Numérique des Systèmes Physiques- permet la simulation de systèmes requérant une modélisation dans différents champs de la physique et de la technologie : électricité, mécanique, thermodynamique, hydraulique.

L'objectif est de libérer l'utilisateur de la résolution des équations et systèmes issue de cette modélisation, et de mettre à sa disposition des résultats facilement interprétables à partir de courbes, tableaux de valeurs ou animations.



SiNuSPhy a été développé dans la perspective d'une utilisation par des élèves de lycée, de première et terminale, ou de classes post-bac de STS ou CPGE.

## L'INTERFACE VISUELLE

The screenshot displays the SiNuSPhy software interface. At the top, a menu bar includes 'Fichier', 'Edition', 'Objets', 'Affichage', 'Fenêtre', and 'Aide'. Below it is a 'Barre d'outils' (tool bar) with various icons. The main workspace is a 'Zone de création du schéma' (schematic creation zone) containing a diagram with blocks like 'Curseur', 'Moteur base', 'Etude', and 'Sortie'. To the right is a 'Bibliothèques' (libraries) panel showing a file explorer and a preview of components like 'moteur\_cc.spb' and 'pignon\_cremaillere.spb'. In the foreground, there are two windows: 'Paramètres du calcul' (Calculation parameters) with fields for 'Durée (s)' (4), 'Incrément (s)' (0.0050000), and 'Temporisation (ms)' (0), and 'Variation de <Tetaproj>' (Variation of <Tetaproj>) showing a graph of a sine wave. The graph's x-axis is 'Temps(s)' (Time in seconds) from 0 to 3.0, and the y-axis ranges from -1.4 to -0.2. A legend indicates 'Tetaproj' values of 1.460000 and -1.080206.

L'interface visuelle de **SiNuSPhy** a été volontairement simplifiée pour réduire au maximum le temps d'appropriation des différentes commandes.

Elle comporte pour l'essentiel trois zones :

### Barre d'outils :

Toutes les commandes sont regroupées dans une seule barre d'outils comportant une vingtaine de boutons : commande relatives à la gestion des fichiers, outils de créations des composants de base, simulation et accès aux paramètres de configuration.

### Bibliothèque de composants :

**SiNuSPhy** offre la possibilité à l'utilisateur de créer ses propres composants, puis de les stocker dans une bibliothèque pour une réutilisation ultérieure. La partie droite de la fenêtre est constituée d'un explorateur et d'une fenêtre de prévisualisation de ces composants de bibliothèque.

### Schéma du système

La partie centrale de la fenêtre est destinée à la visualisation du schéma au cours de sa construction

### Simulation, résultats

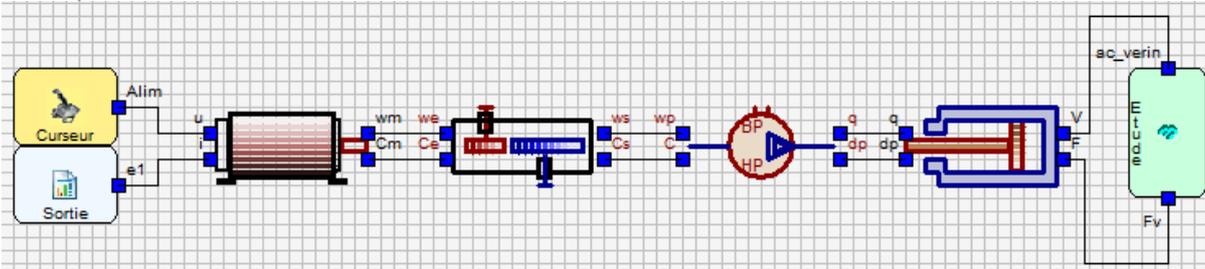
Les paramètres de simulation et les résultats sont accessibles au moyen de fenêtres spécifiques. Toutes les entrées/sorties des blocs peuvent être consultées après simulation par un simple clic droit de la souris...

## LIEN AVEC SYSML

SysML - Systems Modeling Language - est un langage de modélisation qui permet la spécification, l'analyse, la conception, la vérification et la validation de nombreux systèmes.

La représentation d'un système dans SiNuSPhy est voisine de l'un des deux types suivants de SysML : **Diagramme de bloc interne** (Internal block diagram) dans une utilisation de niveau supérieur, à partir de **composants de bibliothèque**. A ce niveau, le schéma représente les flux entre composants du système, correspondants aux transferts d'énergie ou au traitement des informations nécessaires à la commande.

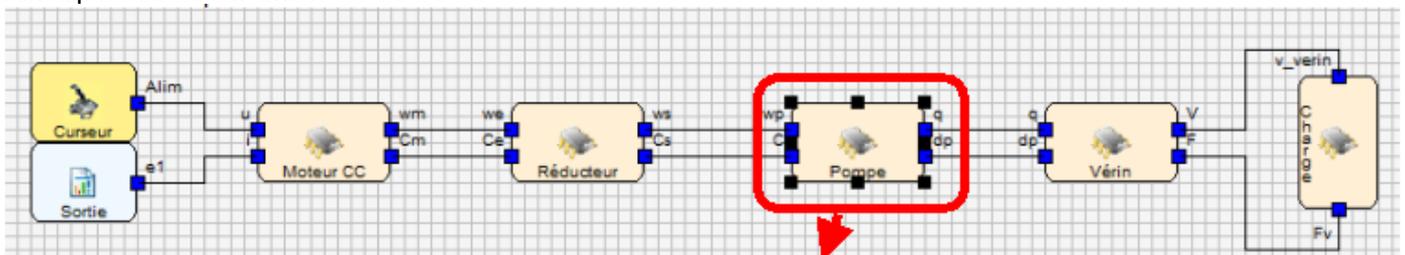
Son aspect est le suivant :



Dans ce mode d'utilisation, aucune équation de comportement n'est visible par l'utilisateur.

**Diagramme paramétrique** (Parametric diagram) lors de l'utilisation des **composants fondamentaux**, qui s'appuient sur l'écriture des équations de comportement issues des lois de la physique.

Son aspect est le suivant :



Propriétés Composant Standard

Nom : Pompe

Entrées/Sorties

Nom	Alias	Unité	Pos.
e1	wp		G
e2	C		G
e3	q		D
e4	dp		D

Relations

$$wp' = (C \cdot K \cdot dp - \mu \cdot wp) / J$$
$$0 = q - K \cdot wp$$

Paramètres

<input checked="" type="checkbox"/>	Nom	Valeur
<input checked="" type="checkbox"/>	J	0.00023
<input checked="" type="checkbox"/>	K	0.0000021
<input checked="" type="checkbox"/>	mu	0.0032

Options

Changer d'icône

Document ou lien associé

OK Annuler

Dans ce mode d'utilisation, chaque bloc définit des variables d'entrée/sortie, des constantes et une ou plusieurs équations de comportement, accessibles dans une fenêtre spécifique.

## LA MODÉLISATION

Modéliser un système est une démarche purement intellectuelle. Elle repose en général sur deux phases successives :

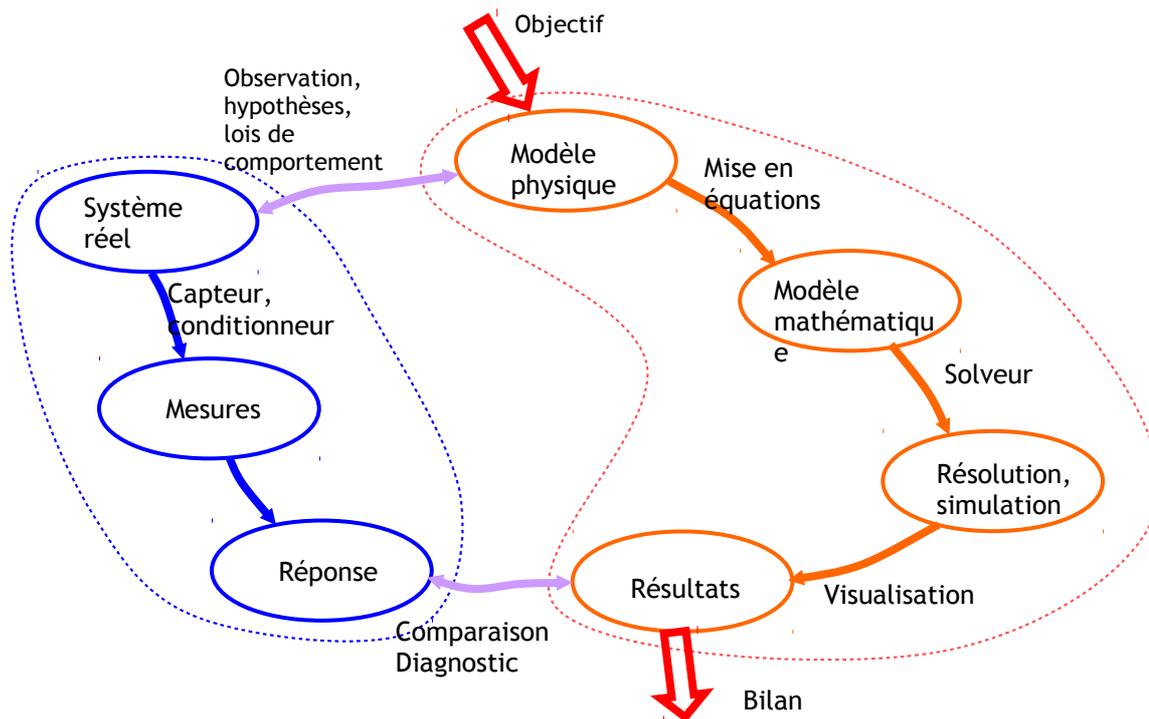
la première est une approche structurale, conduisant en général à une **représentation graphique du système** et/ou des sous-systèmes : graphe de liaison, schéma bloc, schéma structurel...

la seconde est **physique et/ou mathématique**, en associant à chaque composant du système une représentation abstraite, se prêtant à un **traitement et à l'obtention de résultats numériques**.

Dans les différents champs de la physique - électricité, mécanique, thermique, hydraulique...- la modélisation repose sur la mise en place d'**équations exprimant le comportement du composant** : moteur, pompe, vérin, rotor...

### Remarque

Il est à noter que la modélisation d'un système est généralement conditionnée par l'objectif que l'on se fixe. La phase de modélisation est fondamentale dans l'étude d'un système. Elle s'appuie sur la formulation d'**hypothèses relatives au comportement réel**.



## MODÈLE DE CONNAISSANCE, MODÈLE DE COMPORTEMENT

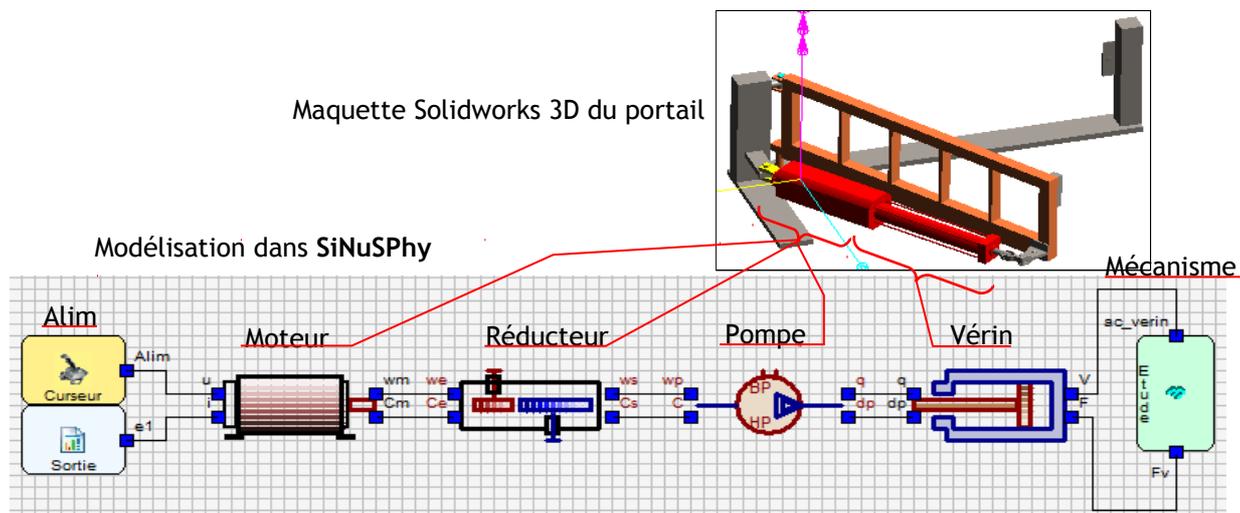
Il existe deux façons de construire le modèle d'un système :

**modèle de connaissance** : il est possible d'associer à chaque constituant une ou plusieurs **lois de comportement** entre ses paramètres physiques ;

**modèle de comportement** : il est souvent difficile, voire impossible, de mettre en place des équations théoriques relatives aux éléments du système. Dans ce cas, on peut observer expérimentalement la réponse du système à certaines sollicitations extérieures, et en déduire une loi de comportement par **analogie avec des systèmes classiques, connus** : système du premier ou du second ordre, présence d'un retard, de saturation...

### Exemple SiNuSPhy

L'illustration ci-dessous montre la modélisation par SiNuSPhy du portail automatisée FAAC, à chaîne d'énergie électro-hydro-mécanique.



## LA SIMULATION

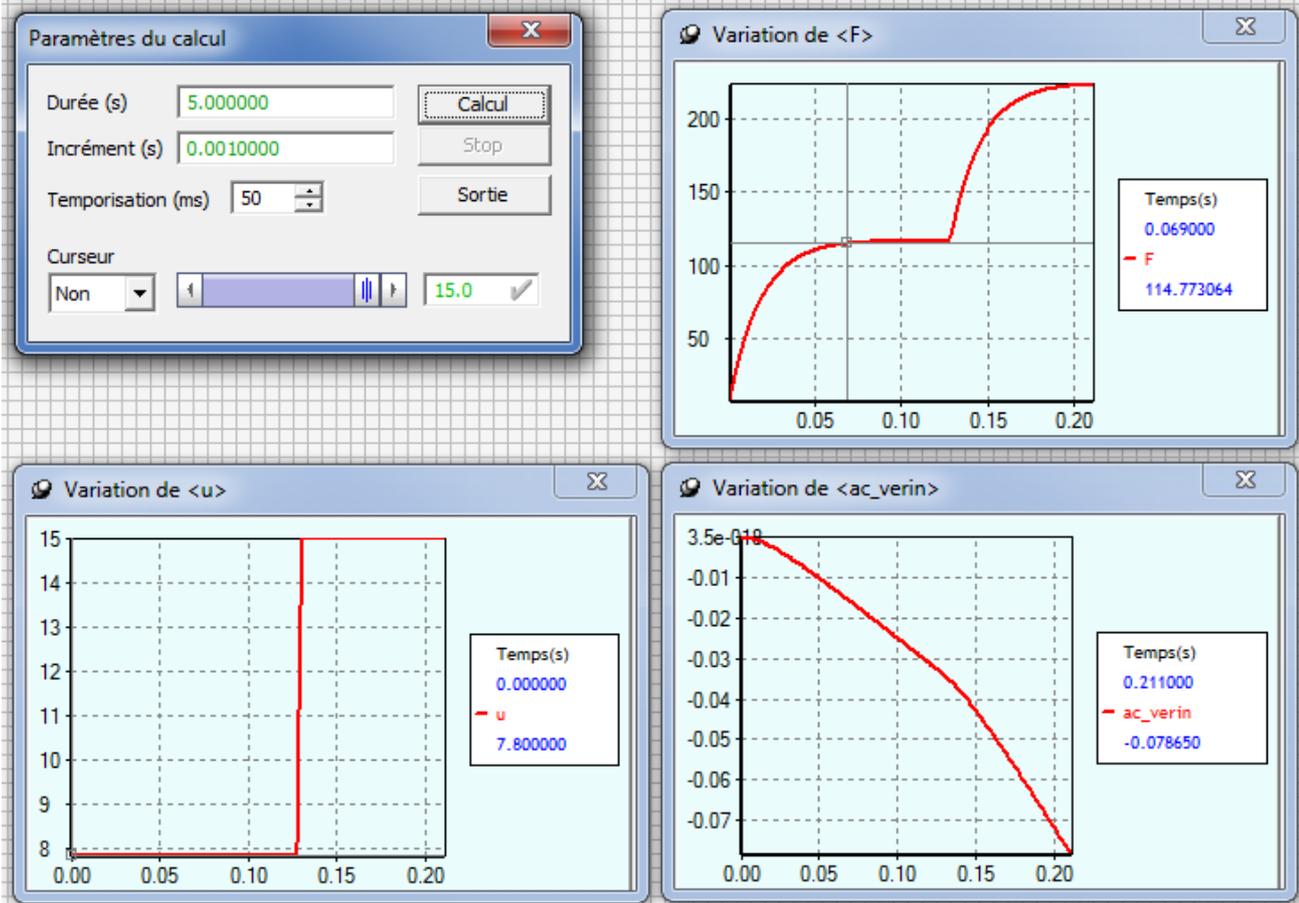
### Solveur

Simuler le comportement d'un système consiste à traiter le système d'équations mis en place lors de la modélisation. Les systèmes sont généralement constitués d'équations algébriques linéaires (cinématique, statique en mécanique) ou d'équations différentielles linéaires, d'ordre 1 ou d'ordre 2 (dynamique, électricité, thermique...).

Dans la grande majorité des cas, les systèmes à traiter n'admettent pas de solution explicite, et seules des méthodes numériques permettent d'obtenir une solution approchée.

Le solveur est le module logiciel qui assure cette phase de traitement numérique. Il est un élément clé de la simulation : algorithmes utilisés, performance en terme de précision, de rapidité de traitement...

### Résultats



L'illustration ci-dessus montre les courbes de résultats du système électro-hydro-mécanique du portail FAAC. La tension d'alimentation du moteur est de 7,8 V pendant 0,125 s environ, et passe à 15 V ensuite. On observe en réponse la loi d'effort du vérin sur le portail, et l'accélération de ce même vérin.

### Analyse

Après résolution, une étape cruciale de la démarche consiste à effectuer une analyse critique de la solution obtenue, de façon à **valider le modèle et la simulation**. Idéalement, c'est la **comparaison avec les valeurs de certains paramètres, relevées expérimentalement** sur le système réel ou sur une partie de celui-ci, qui permet cette validation. Le diagnostic est binaire :

l'écart observé entre les valeurs « réelles » et celles issues de la simulation est inférieur à un critère de qualité fixé à l'avance. On peut présumer dans ce cas que le modèle est satisfaisant, pour un domaine de valeurs voisin de celui de l'expérimentation. Il convient de renouveler la comparaison en faisant varier les valeurs des paramètres d'entrée-sortie, de façon à cerner le domaine de validité du modèle.

l'écart entre les valeurs mesurées et simulées dépasse le critère de qualité fixé. Une phase d'analyse critique doit alors permettre d'identifier l'origine de cet écart, et de remettre en cause les deux chaînes d'obtention de résultats, expérimentale et simulée. Cette phase ne peut être menée que par un expert, capable d'identifier les causes de l'écart : frottement dans la partie mécanique, non linéarité du comportement, valeurs de constantes du modèle mal connues...

## EQUATIONS DANS SiNuSPHY

La saisie des équations dans SiNuSPhy répond à des règles strictes, décrites ci-dessous.

### Equations linéaires

Qu'elles soient algébriques ou différentielles, les équations définissant le modèle doivent être linéaires. Rappel : soit  $f$  une application de  $\mathbb{R}^n$  dans  $\mathbb{R}$  :  $u = f(X)$ . Elle est linéaire si  $f(\lambda X) = \lambda f(X)$  et si  $f(X + Y) = f(X) + f(Y)$ .

### Equations différentielles d'ordre 1

SiNuSPhy accepte les équations différentielles d'ordre 1. La syntaxe doit être la suivante :

$$a w' = f(t, u, u', v, v', w)$$

Le premier membre ne contient que la dérivée première du paramètre  $w$ , fonction du temps, éventuellement multiplié par une constante  $a$ .

Le second membre est une fonction du paramètre  $w$ , du temps  $t$ , et d'autres paramètres et/ou de leurs dérivées par rapport au temps ( $u, u', v, v', \dots$ ).

**Nota bene** : Si la constante multiplicative  $a$  figurant dans le premier membre est nulle, alors l'équation est algébrique...

### Equations différentielles d'ordre supérieur à 1

Supposons une équation différentielle d'ordre 2, à coefficients constants, dont la définition est la suivante :

$$a \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + cy = d$$

Une telle équation ne peut pas être utilisée sous cette forme dans SiNuSPhy. Par contre, il est possible de définir la

fonction  $v$  telle que  $v(t) = \frac{dy(t)}{dt}$ . L'équation précédente permet alors d'écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} a \frac{dv}{dt} + b \frac{dy}{dt} + cy = d \\ v = \frac{dy}{dt} \end{array} \right. \quad \text{qui s'écrit dans SiNuSPhy :} \quad \left\{ \begin{array}{l} av' = -bv - cy + d \\ y' = v \end{array} \right.$$

On obtient ainsi un système de deux équations différentielles d'ordre 1, dont la solution est identique (pour le paramètre  $y$ ) à celle de l'équation initiale du second ordre.

Ce procédé peut se généraliser à un ordre  $n$  quelconque, permettant de substituer à une équation différentielle d'ordre  $n$ , un système de  $n$  équations différentielles d'ordre 1.

### Equations algébriques

Une équation algébrique fait apparaître les paramètres  $u, v, w$  **ou** leurs dérivées  $u', v', w', \dots$ . L'écriture de l'équation est quelconque pourvu que ne figure pas dans le premier membre la seule dérivée d'un paramètre, qui est la marque d'une équation différentielle.

Si des dérivées des paramètres apparaissent dans une telle équation, elles sont évaluées en prenant la dernière valeur connue, généralement calculée au pas précédent.

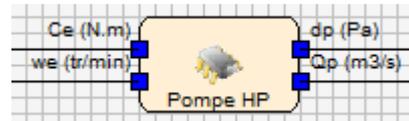
## COMPOSANT DE BASE

Il est "l'homme à tout faire" de la modélisation dans Sinusphy.

Ikône dans la barre d'outils



Bloc associé dans le schéma :



Fenêtre d'édition du composant de base :

Propriétés Composant Standard

Nom: Pompe HP

**Entrées/Sorties**

Nom	Alias	Unité	Pos.
e1	Ce	N.m	G
e2	we	tr/min	G
e3	dp	Pa	D
e4	Qp	m <sup>3</sup> /s	D

**Relations**

```
Qp-Kp*we=0  
we'=(Ce-Kp*dp-mu*we)/J
```

**Paramètres**

<input checked="" type="checkbox"/>	Nom	Valeur
<input checked="" type="checkbox"/>	Kp	0.723e-6
<input checked="" type="checkbox"/>	mu	1.17e-3
<input checked="" type="checkbox"/>	J	2.44e-5

**Options**



Document ou lien associé  
F:\SinusPhy\PompeHP.pdf

OK  
 Annuler

Zone **[Entrées/Sorties]** :

Elle permet de définir les points de liaison avec les composants voisins. Ces paramètres sont des fonctions du temps.

Zone **[Paramètres]** :

Il s'agit des paramètres du composant.

Zone **[Relations]** :

Elle permet de définir les lois de comportement du composant. Les équations utilisent les paramètres d'entrée et de sortie et les paramètres constants

Zone **[Options]** :

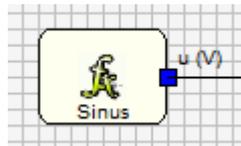
Elle permet de changer l'icône illustrant le bloc du schéma, et d'associer un fichier d'aide au composant (pdf ; doc, xls, ppt...)

## FORMULE

Ce composant permet de définir une entrée dans le système au moyen d'une formule fonction du temps.  
Icône dans la barre d'outils



Bloc associé dans le schéma :



Fenêtre d'édition du composant formule :

### Zone [Sortie] :

Elle permet de définir le paramètre de sortie du bloc et l'expression mathématique de la loi associée. L'entrée est par hypothèse le temps.

### Zone [Vérification] :

Elle permet de visualiser la courbe d'entrée, après avoir défini les bornes et l'incrément de temps.

Nom	Alias	Formule f(t)	Unité
e1	u	$u=40*\sin(100*\pi*t)$	V

De 0 à 0.04 Incrément 0.001 >>

OK Annuler

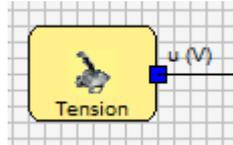
## CURSEUR

Ce composant permet de définir une entrée dans le système au moyen d'un curseur qui apparaît dans la fenêtre de simulation, et permet de faire varier le paramètre de façon interactive.

Icône dans la barre d'outils



Bloc associé dans le schéma :



Fenêtre d'édition du composant curseur :

Zone [Sortie] :

Elle permet de définir le paramètre de sortie et son unité.

Zone [Paramètres] :

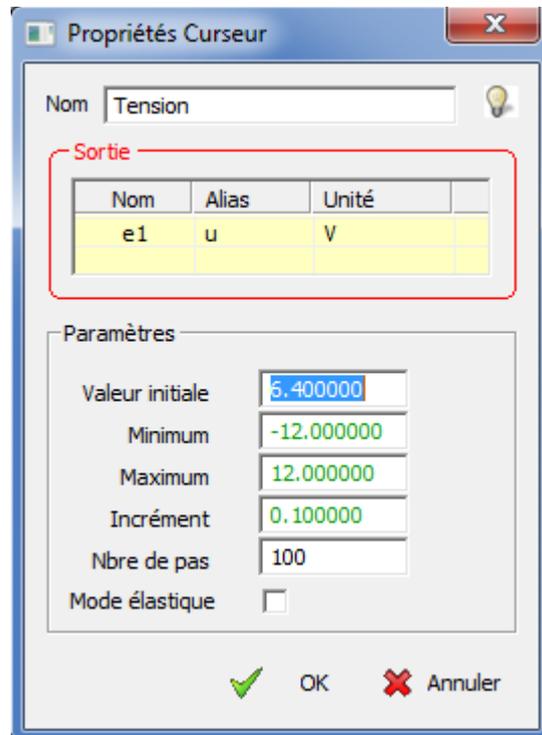
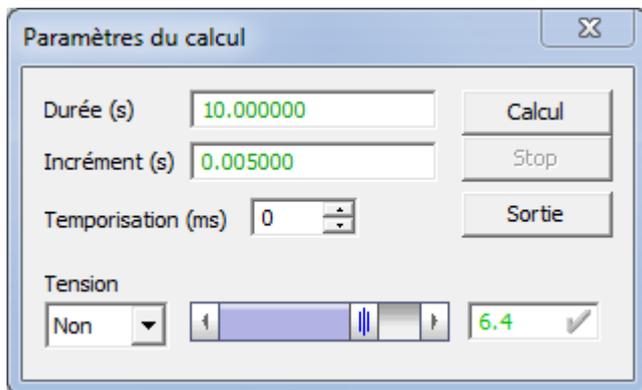
Elle permet de définir :

la valeur au début de la simulation ;

les bornes mini et maxi ;

l'incrément lors de l'utilisation de la souris ;

le pas lors d'un clic sur les flèches d'extrémité.



## ENTRÉE COURBE

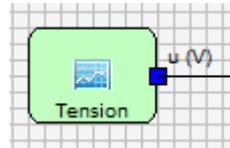
Ce composant permet de définir une entrée dans le système par une courbe préalablement construite au moyen d'un ensemble de points (X, Y) enregistrés dans un fichier texte (ASCII).

Le format de ce fichier est compatible avec l'éditeur de courbes de Méca3D.

Icône dans la barre d'outils



Bloc associé dans le schéma :



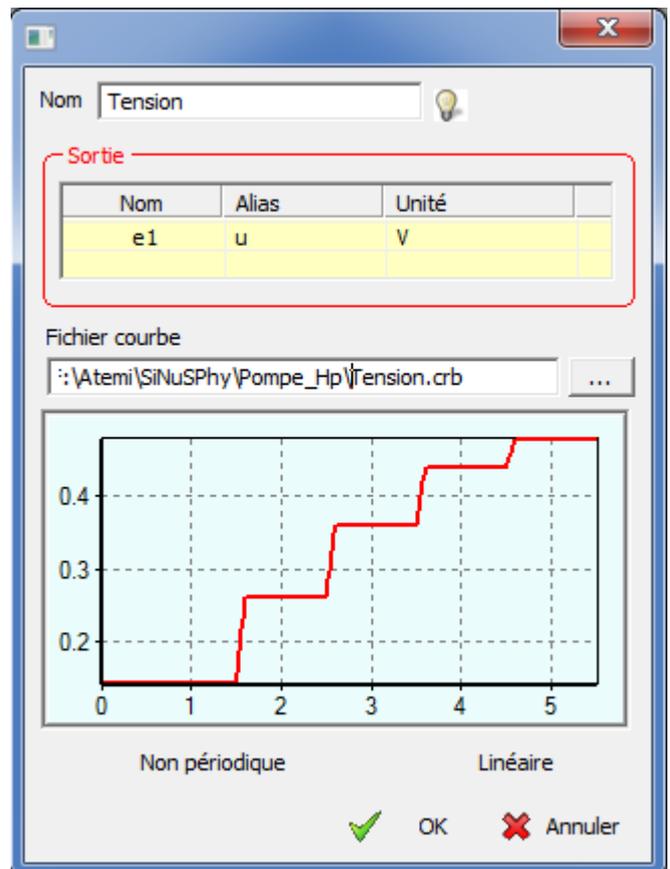
Fenêtre d'édition du composant courbe :

Zone **[Sortie]** :

Elle permet de définir le paramètre de sortie et son unité.

Zone **[Courbe]** :

Elle permet de visualiser la courbe d'entrée. Le paramètre en abscisse est nécessairement le temps.

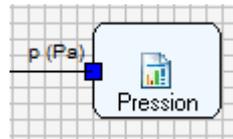


## SORTIE

Ce composant permet de définir une sortie du système.  
Icône dans la barre d'outils

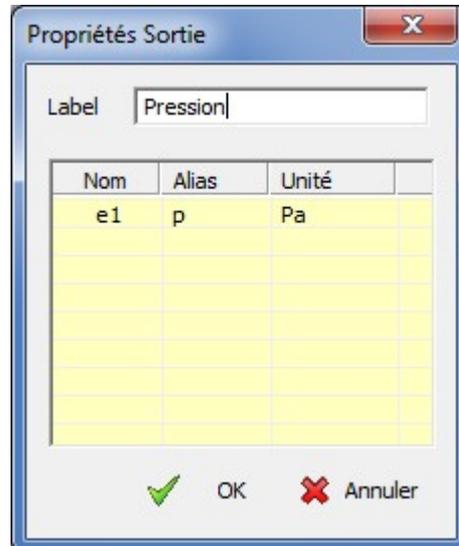


Bloc associé dans le schéma :



Fenêtre d'édition du composant sortie :

Elle permet de définir le paramètre d'entrée et son unité.



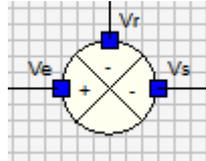
## SOMMATEUR

Ce composant permet de définir de façon simple une relation de somme ou de différence de plusieurs paramètres. Il est fréquemment rencontré comme comparateur dans un système asservi.

Icône dans la barre d'outils



Bloc associé dans le schéma :



Fenêtre d'édition du composant sommateur :

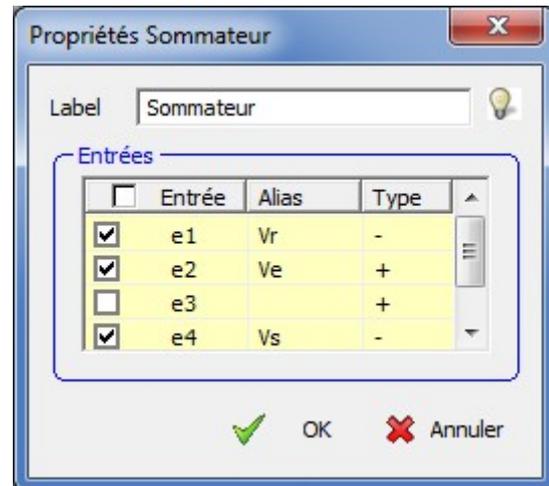
### Zone [Entrées] :

Elle permet de définir les paramètres d'entrée/sortie et la relation qui les lie.

Cette relation s'écrit sous la forme de la somme/différence nulle des paramètres.

Sur l'illustration ci-contre :

$$-V_r + V_e - V_s = 0$$



## COMPOSANT COURBE

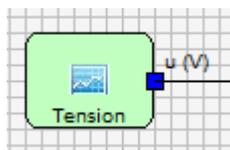
Ce composant permet de définir une relation entre deux paramètres par une courbe préalablement construite au moyen d'un ensemble de points (X, Y) enregistrés dans un fichier texte (ASCII).

Le format de ce fichier est compatible avec l'éditeur de courbes de Méca3D.

Icône dans la barre d'outils



Bloc associé dans le schéma :



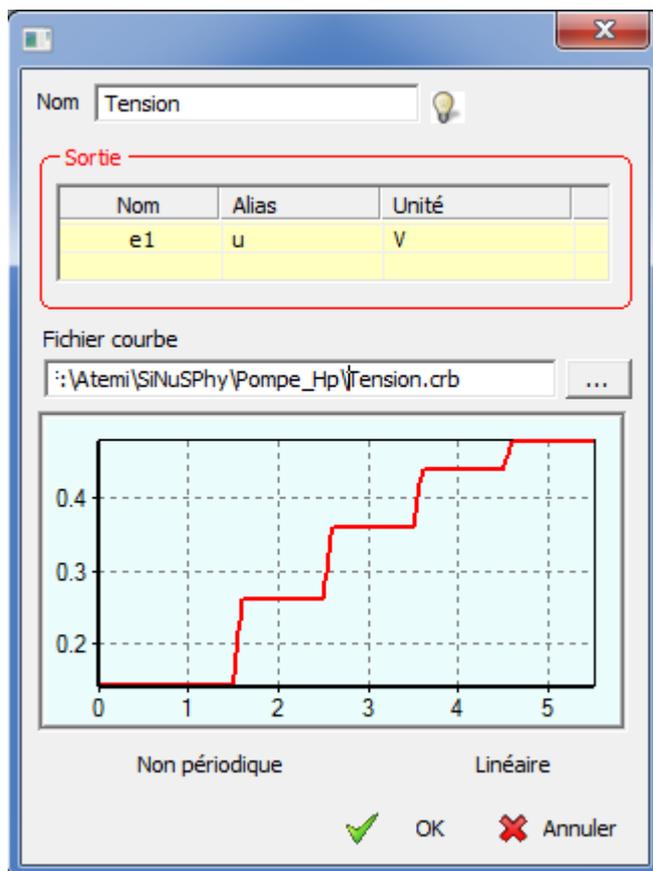
Fenêtre d'édition du composant courbe :

Zone **[Sortie]** :

Elle permet de définir le paramètre de sortie et son unité.

Zone **[Courbe]** :

Elle permet de visualiser la courbe d'entrée. Le paramètre en abscisse est nécessairement le temps.

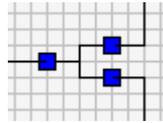


## POINT DE PRÉLÈVEMENT

Ce composant permet de prélever un même paramètre pour l'affecter à deux ou plusieurs branches du graphe.  
Icône dans la barre d'outils



Bloc associé dans le schéma :



Fenêtre d'édition du composant point de prélèvement :

Elle permet de définir le nombre de branches partant ou aboutissant au point de piquage



## BLOC MECA3D

Ce composant permet de définir de façon simple une relation de somme ou de différence de plusieurs paramètres. Il est fréquemment rencontré comme comparateur dans un système asservi.

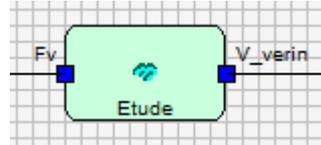
La modélisation d'un ensemble mécanique ne peut généralement pas être représentée par un bloc de base : modèle complexe, équations non linéaires....

SiNuSPhy permet de le modéliser en utilisant un lien avec Meca3D. Le modèle mécanique est construit préalablement dans SolidWorks avec Meca3D, puis importé dans SiNuSPhy via un fichier spécifique (.mdf) pour être traité avec les autres composants. Ce lien évite toute écriture d'équation relative à la partie mécanique.

Icône dans la barre d'outils



Bloc associé dans le schéma :



Fenêtre d'édition du composant bloc Meca3D :

**Zone de l'[arbre de construction] :**

Elle permet de visualiser les éléments du modèle Meca3D tels qu'ils ont été définis dans Meca3D : pièces, liaisons, efforts extérieurs, mouvements pilotes et courbes de résultats. Cet arbre permet de définir les entrées/sorties du bloc Meca3D

**Zones [Entrées et sorties] :**

Elles permettent de sélectionner les paramètres en entrée et en sortie de Meca3D: ce peut être :

un effort extérieur connu en entrée (glisseur ou couple). Dans ce cas le paramètre de sortie sera impérativement un mouvement libre;

un mouvement imposé dans une liaison en entrée (translation ou rotation). Dans ce cas le paramètre de sortie sera impérativement un effort inconnu apte à assurer le mouvement.

**Zone [Résultats] :**

Elle permet de sélectionner un élément quelconque du modèle, et de le proposer en résultat de la simulation. Un paramètre de ce type n'a aucune action sur le comportement du modèle.

Propriétés Etude

Fichier: \\Atemi\SiNuSPhy\\_Exemples\FAAC\FAAC.mdf

Mécanisme: FAAC  
Etude: Etude 08/06/2011 22:53:29  
Type: Dynamique  
Identifiant: {a6bfca79-c80c-4877-bde4-fa656468d4e2}

Entrées

Ident	Alias	Item	Grandeur	Mouvement	Pos.
e1	Fv	Vérin	Poussée		G

Sorties

Ident	Alias	Nom	Type	Compos...	Pos.
e2	V_verin	Liaison5	Accélération re...	Tx	D

Résultats

Ident	Alias	Nom	Type	Compos...	Pos.
-------	-------	-----	------	-----------	------

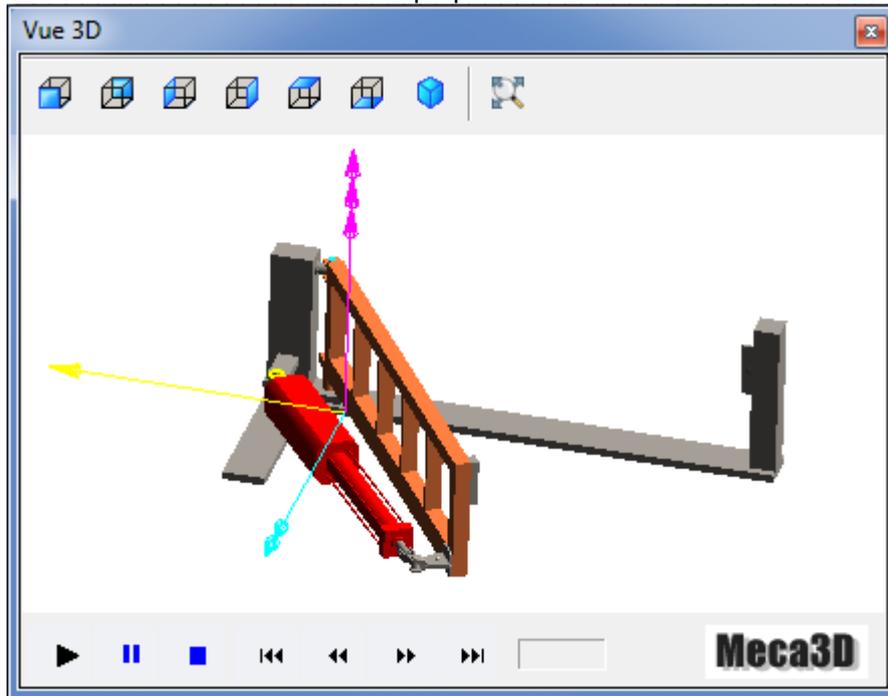
Options

Animation

Document ou lien associé: [ ]

Modifier  
Ajouter aux entrées

Une animation du mécanisme est proposée simultanément à la simulation du système.



## LIEN

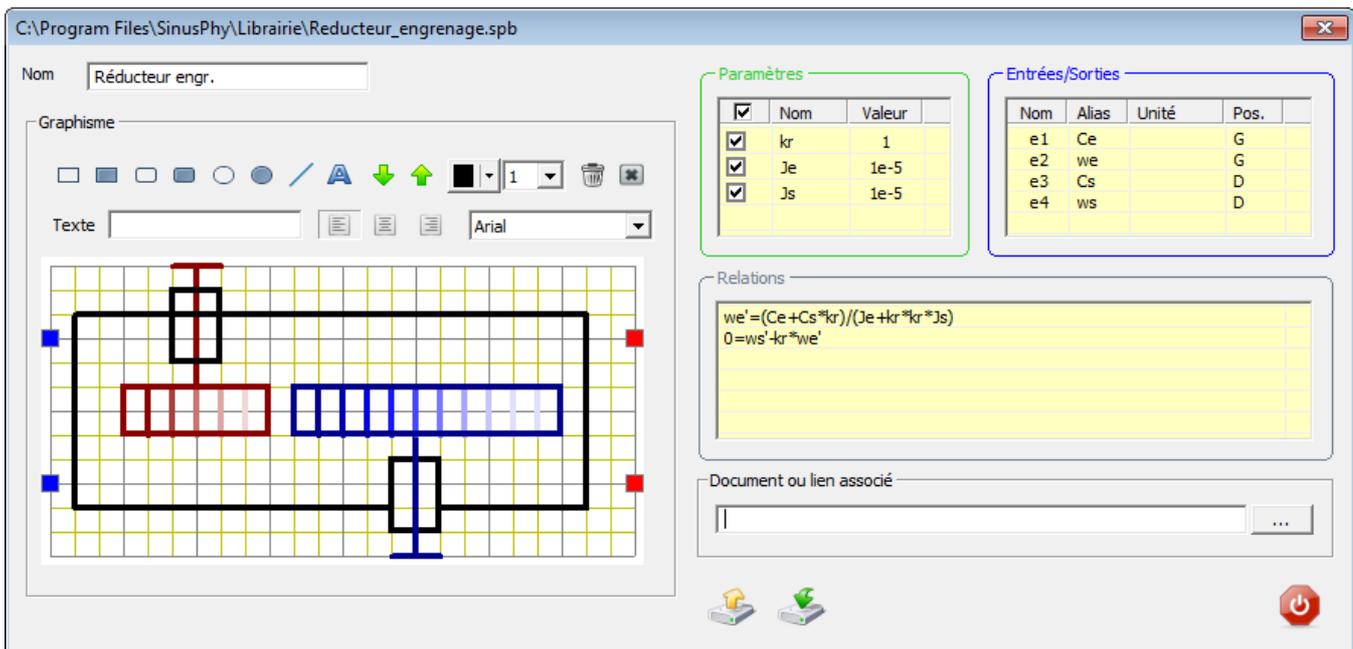
Icône dans la barre d'outils



Le composant lien permet de compléter la structure du système en établissant les relations entre les blocs. Un lien doit nécessairement joindre deux entrées/sorties d'un composant, compatibles du point de vue des unités. Aucun paramétrage n'est possible pour ce composant.

## EDITEUR D'ÉLÉMENTS DE BIBLIOTHÈQUE

Cet éditeur est un programme indépendant qui permet de définir simplement des éléments de bibliothèques réutilisables par SiNuSPhy.



La définition d'un élément de bibliothèque est similaire à celle d'un composant de base dans SiNuSPhy.

Une fois sauvegardé, le composant ainsi créé pourra apparaître dans la fenêtre dédiée et être inséré dans un schéma par la méthode du *Glisser-déposer* ( ou *drag-and-drop* ).

